

Impactos da substituição da vegetação original do Cerrado brasileiro em sistemas agrícolas: alteração do carbono orgânico do solo e $\delta^{13}\text{C}$

Recibido: 21 de junio de 2011. Aceptado em version final: 20 de abril de 2012.

Vania Rosolen*
Thalita Mendes Resende**
Elias Nascentes Borges***
Cristiane Tumang Frare****
Henrique Amorim Machado*

Resumo. O Bioma Cerrado é uma área de expansão do agronegócio brasileiro e dentre as várias modificações ambientais relacionadas à conversão da vegetação em agricultura destaca-se alteração no teor do carbono orgânico do solo. Este estudo teve como objetivo avaliar as mudanças na quantidade (%) e natureza ($\delta^{13}\text{C}$) do carbono do solo após conversão do Cerrado denso (Cerradão) em áreas de pastagem manejada, pastagem não manejada, soja convencional e rotação soja/milho plantio direto implantados em solos com texturas distintas. Os resultados mostraram que a média do conjunto de dados da pastagem não manejada foi a que mais se distanciou do valor obtido no solo do Cerrado. Outro fator que determinou as menores concentrações de

carbono orgânico foi a presença de solo fortemente arenoso. Os resultados do $\delta^{13}\text{C}$ mostraram que foi mais nítida a substituição do carbono C_3 original do Cerrado em carbono C_4 de gramíneas nas áreas ocupadas por pastagens com ou sem manejo. Nas áreas de soja plantio convencional e consórcio soja/milho plantio direto, não foi possível encontrar tendência clara de empobrecimento ou enriquecimento do carbono bem como a substituição e incorporação de carbono de outra natureza que aquela do Cerrado.

Palavras chave: Cerrado, carbono total, carbono isotópico, sistemas agropecuários.

Impacts of conversion of the original Brazilian cerrado vegetation in agriculture systems: changes of soil organic carbon and $\delta^{13}\text{C}$

Abstract. The Brazilian savannah (cerrado) is an area of expansion of agribusiness. Among the various environmental changes related to deforestation of the savannah stand out impacts related to soil organic matter such as the imbalances

in stocks and the changing nature of soil organic carbon. The objective of these study was to evaluate changes in nature ($\delta^{13}\text{C}$) and quantity (C%) of soil carbon after conversion of the dense savannah vegetation in areas under different lan-

* Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Av. João Naves de Ávila, no. 2.121, Santa Mônica, Uberlândia. MG, CEP 38408-100, Brasil. E-mail: vrosolen@ig.ufu.br; henriquedageo@yahoo.com.br

** Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Av. João Naves de Ávila, no. 2.121, Santa Mônica, Uberlândia. MG, CEP 38408-100, Brasil. E-mail: thalitamresende@yahoo.com.br

*** Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Av. João Naves de Ávila, no. 2.121, Santa Mônica, Uberlândia. MG, CEP 38408-100, Brasil. E-mail:

**** Universidade de Uberaba (UNIUBE), Av. Rondon Pacheco, no. 2.000, Lidice, Uberlândia. MG, CEP 38408-100, Brasil. E-mail: Cristiane.tumang@uniube.br

duses (pasture, soybeans, corn / soybean rotation), management (conventional and zero tillage) developed in soils with different textural characteristics. The results showed that the average data set of non-managed grazing was the most distanced from the value obtained in cerrado soil. Another factor that determined the lowest concentrations of organic carbon was the presence of sandy soil. The results showed that the carbon C_4 grasses in areas occupied by pastures, with or without management, replaced the original C_3 carbon

originated by cerrado. In the areas of conventional tillage, and no-tillage soybean, and consortium soybean/corn, no clear trend of impoverishment or enrichment of carbon and the carbon substitution as well as the incorporation of different nature of the carbon could be found.

Key words: Brazilian savannah, total carbon, carbon isotope, agricultural systems.

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro (savana) está se modificando pela conversão do uso da terra e manejo, restando apenas 51.54% (1 051 182 km²) de áreas remanescentes da vegetação original (MMA, 2010). A vegetação original é retirada por corte e queima para dar espaço as monoculturas de grãos (soja e milho, principalmente), algodão, pastagens manejadas associadas com pastagens degradadas (naturais), entre outros. É um Bioma com rica biodiversidade, desenvolvido em condições ambientais de reduzida precipitação sazonal (precipitação total anual em torno de 1 500 mm com um período seco entre maio e setembro), (Silva *et al.*, 2008), em solos antigos, lixiviados, ácidos (alta concentração de Al trocável), ricos em sesquióxidos e com baixa disponibilidade nutricional (constituído por argila de baixa atividade - LAC), (Volkoff, 1985; Reatto *et al.*, 2008). Dentre as várias modificações ambientais relacionadas ao desmatamento do Cerrado destacam-se os desequilíbrios nos estoques de carbono (Klink e Machado, 2005), na natureza das fontes de carbono (Balesdent *et al.*, 2000) e na redução do carbono ligado à biomassa e a matéria orgânica do solo (MOS), (Lal, 2003; Egoh *et al.*, 2009).

A agricultura e pecuária intensivas nos trópicos podem reduzir a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo e aumentar a liberação de gases do efeito estufa (Resk *et al.*, 2000; Lal, 2003; Cerri *et al.*, 2006; Marchão *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2009). Por outro lado, a aplicação de técnicas de manejo como o plantio direto e a presença de características intrínsecas ao solo como a textura e a mineralogia interferem diretamente no acúmulo de carbono no solo (Corazza *et al.*, 1999; Freitas *et al.*, 2000; Bayer *et al.*, 2006; Marchão *et al.*, 2009). Contudo, ainda é controversa a contribuição de

perda de carbono do solo ligado ao desmatamento e incorporação agrícola. Em uma revisão bibliográfica feita por Murty *et al.* (2002), os autores mostraram que a conversão da floresta em áreas cultivadas levam a uma perda média de 30% do carbono do solo sendo que, quando se introduz pastagem, não ocorreram mudanças significativas no carbono ou nitrogênio do solo enquanto que, quando substituído por agricultura, foram relatadas perdas maiores. No mesmo sentido, Guo e Gifford (2002) baseados em análises de metadados revistos da bibliografia indicaram que o estoque de carbono dos solos declina sempre que há mudança do uso do solo, com perdas máximas (-59%) quando pastagens são substituídas por cultivos e floresta nativa é substituída por cultivos (-42%). Por outro lado, a introdução de pastagens provocou aumento o estoque de carbono em até +19%.

O objetivo deste artigo foi avaliar as mudanças na quantidade (C%) e na natureza ($\delta^{13}C$) do carbono orgânico do solo após a conversão da vegetação de Cerrado denso (Cerradão) em áreas agrícolas (soja e soja/milho) e pastagens cultivadas com diferentes técnicas de manejo. Será considerada, também, a possível influência da textura do solo nos resultados do carbono.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Pesquisa e Coleta das amostras no campo

As amostras de solo foram coletadas região do Triângulo Mineiro, oeste de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). A região, recoberta originalmente pela vegetação de Cerrado, vem sendo fortemente desmatada, desde a década de 1970, por ser uma área pioneira de expansão do agronegócio no Bioma Cerrado.

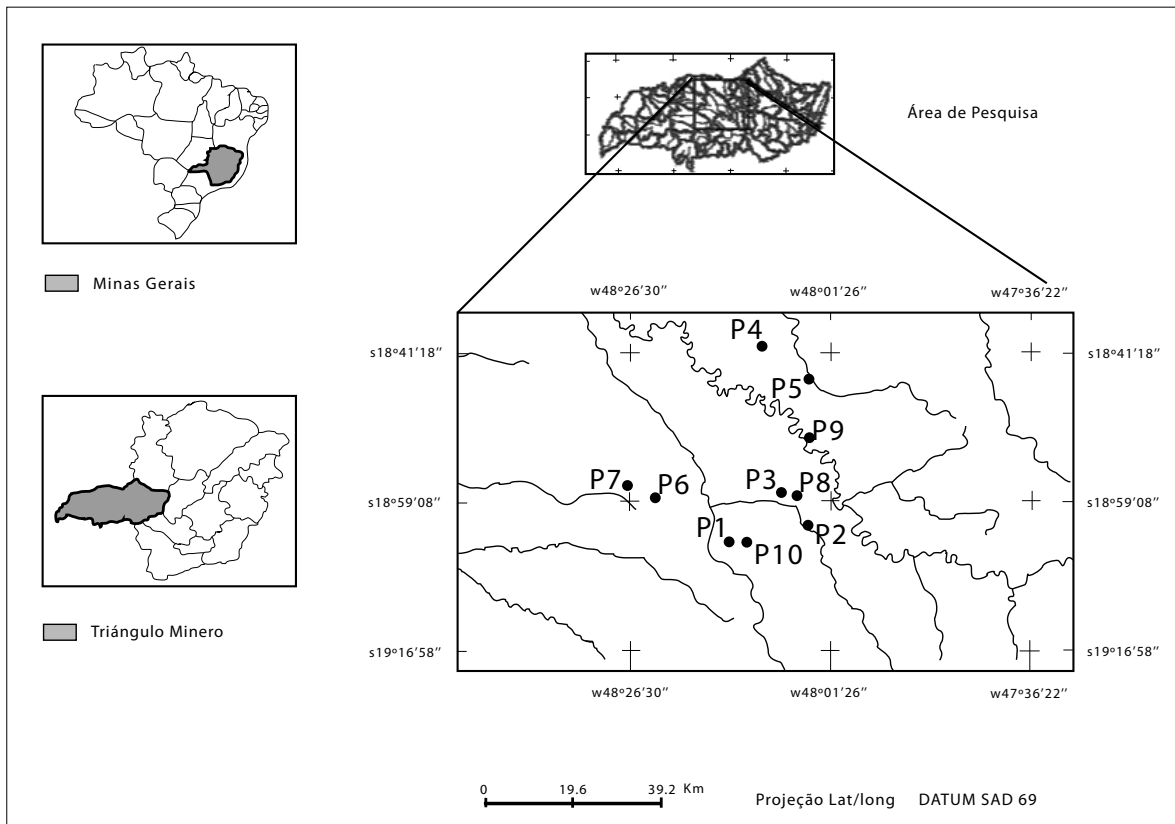


Figura 1. Localização dos pontos de coleta das amostras de solo no Triângulo Mineiro/MG.

Baseando-se nas diferentes categorias de uso, manejo e/ou textura do solo pautada em mudança de litologia, foram escolhidos 10 pontos para coleta das amostras de solos (Figura 1). O ponto de coleta 1 corresponde a uma área de remanescente de Cerrado Arbóreo Denso (Cerradão) sobre Latossolo areno-argiloso desenvolvido da alteração de sedimentos arenosos continentais depositados em clima semi-árido da Formação Marília (Grupo Bauru) que recobre os basaltos da Formação Serra Geral. Os pontos 2, 4, e 6 referem-se a áreas de pastagens manejadas sobre, respectivamente, Latossolo Vermelho Argiloso desenvolvido da alteração do Basalto da Formação Serra Geral datada do final do Jurássico e início do Cretáceo, Latossolo Argilo-arenoso desenvolvido da alteração da Cobertura Detrito-laterítica que corresponde a sedimentos finos depositados no final do Terciário em ambiente tropical úmido sobre o sedimento da Formação Marília e, finalmente, Latossolo Arenoso

desenvolvido da alteração de arenitos da Formação Adamantina (Grupo Baurú) do Eocretáceo constituídos por sedimentos continentais de ambientes árido e semi-árido depositados sobre os basaltos da Formação Serra Geral.

Os pontos de 3, 5 e 7 tratam-se de áreas de pastagem não manejada sobre, respectivamente, Latossolo Vermelho Argiloso sobre Basalto, Latossolo Argilo-arenoso sobre Cobertura Detrito-laterítica, Latossolo Arenoso sobre Formação Adamantina. O ponto 8 trata-se de uma área com plantio de soja sob sistema convencional sobre Latossolo Vermelho Argiloso sobre Basalto. O ponto 9 refere-se a uma área com plantio de soja rotação com milho em sistema de plantio direto sobre Latossolo Argilo-arenoso sobre Cobertura Detrito-laterítica, enquanto que o ponto 10 trata-se de uma área com plantio de soja rotação com milho em sistema de plantio direto sobre Latossolo argiloso sobre Basalto.

As amostras foram coletadas em trincheiras, na profundidade entre 0-30 cm. A profundidade escolhida deveu-se ao fato de que os maiores teores de carbono orgânico encontram-se estocados na superfície do solo e que o desflorestamento e perda por mineralização se refletirão de forma mais rápida e acentuada nestas camadas (Bernoux *et al.*, 2002). Em cada ponto foram coletadas 3 amostras. A avaliação textural foi feita em campo de acordo com o protocolo de descrição de solo no campo.

Determinação do Carbono Orgânico do Solo (COS) e do Carbono Isotópico ($\delta^{13}\text{C}$)

Para a determinação da concentração de carbono orgânico do solo (COS) e do carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$), as amostras de solo foram secas a 50° C até atingir peso constante. Raízes e outros resíduos vegetais foram removidos por catação e peneiramento. Qualquer material vegetal remanescente foi removido por flotação em HCl 0.01 mol L⁻¹ e, posteriormente, peneiramento em malha de 210µm. O carbono isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) e o carbono orgânico do solo (COS) foram determinados usando um analisador *Carlo Erba Analyser* CHN-1110, anexado a um espectrômetro de massa *Optima Thermo Finnigan, Plus Delta*. As incertezas analíticas variaram em média 0,3-0,5‰. As análises foram feitas em triplicatas e os teores de carbono orgânico total foram expressos em porcentagem (%) e do carbono isotópico em $\delta^{13}\text{C}$ ‰. O padrão usado na terminação do $\delta^{13}\text{C}$ é o PDB, um carbonato (*Belemnita americana*) da formação *Pee Dee* da Carolina do Sul (EUA). A composição isotópica média do ¹³C da matéria orgânica do solo reflete a vegetação ou sucessão de vegetações que a produziram (Deines, 1980). Este método baseia-se na variação da abundância natural de um material experimental induzido por um fracionamento isotópico durante processos biológicos, químicos e físicos. Tais variações são comparadas a padrões estabelecidos internacionalmente. A aplicação da técnica de abundância natural de ¹³C nos estudos da dinâmica da matéria orgânica do solo utiliza a diferença na relação dos isótopos de C (¹³C / ¹²C) que existe nos diferentes grupos de plantas. As maiores diferenças na composição isotópica de C nos tecidos vegetais são observadas entre espécies

que tem ciclo de carboxilação C₃ e ciclo C₄. As plantas de ciclo C₃ (ou de Calvin) fixam o CO₂ atmosférico através da enzima RUBISCO (*Ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase*), enquanto as C₄ contam com o processo enzimático adicional de fixação de CO₂ da enzima PEP *carboxilase* (*fosfoenolpiruvato carboxilase*). Grande parte das espécies florestais pertence a este grupo. As plantas de ciclo C₄, em sua maioria monocotiledônea, discriminam menos o ¹³C e apresentam valores que variam de -9 a -17‰ e as plantas de ciclo C₃ apresentam valores entre -22‰ e -40‰.

RESULTADOS

Teor de Carbono Orgânico do Solo (COS)

A conversão do cerrado em agricultura e pecuária implantadas em solos lateríticos com texturas distintas, resultado da pedogênese em diferentes litologias, e sob diferentes técnicas de manejo, resultou em horizontes superficiais (0-30 cm de profundidade) com nítidas variações nos teores médios do COS.

Avaliando o efeito da cobertura vegetal e da técnica de manejo nos três perfis com pastagem manejada (Pontos 2, 4 e 6) e comparando com o solo de referência sob Cerrado (Ponto 1), observou-se que o teor médio de COS apresentou valores superior (2.6% no Ponto 4) e inferior (1.4% no Ponto 6) ao encontrado no Cerrado (Tabela 1). Quando se compara o mesmo tipo de uso porém sem técnica de manejo (pastagem não manejada, Pontos 3, 5 e 7), os teores médios de COS variaram de 2.0% (Ponto 3), 1.1% (Ponto 5) e 0.9% (Ponto 7; Tabela 1). Desta forma, os resultados indicaram que, quando comparado com o solo de referência do Cerrado, os solos com pastagens não manejadas apresentaram menores teores totais médios, indicando maior susceptibilidade à perda de carbono.

Comparando o teor médio de COS do fragmento de Cerrado (1.7%) com um perfil de solo cultivado com soja convencional e dois perfis de solo cultivado com soja em rotação com milho em sistema de plantio direto, os teores médios determinados foram de 2.1, 1.4 e 2.2%, respectivamente (Tabela 1). Estas categorias de uso não indicaram

Tabela 1. Teor e natureza do carbono orgânico sob diferentes usos, sistemas de manejo e tipo de solo no Triângulo Mineiro/MG

Ponto (identificação)	Uso / Manejo	Solo / Litologia	$\delta^{13}\text{C}$	COS
			(‰)	(%)
P1. Média	Cerrado	Latossolo / Formação Marília	-26,20	1,75
DP			0,10	0,21
P2. Média	Pastagem manejada	Latossolo Vermelho Argiloso / Basalto	-17,88	1,76
DP			0,29	0,05
P3. Média	Pastagem não manejada	Latossolo Vermelho Argiloso / Basalto	-17,04	2,08
DP			0,64	0,06
P4. Média	Pastagem manejada	Latossolo Argilo-arenoso / Cobertura Detrito-laterítica	-16,92	2,68
DP			0,24	0,27
P5. Média	Pastagem não manejada	Latossolo Argilo-arenoso / Cobertura Detrito-laterítica	-18,12	1,13
DP			0,43	0,12
P6. Média	Pastagem manejada	Latossolo Arenoso / Arenito Adamantina	-15,26	1,47
DP			0,48	0,09
P7. Média	Pastagem não manejada	Latossolo Arenoso / Arenito Adamantina	-17,32	0,91
DP			0,65	0,07
P8. Média	Soja convencional	Latossolo Vermelho Argiloso / Basalto	-19,86	2,19
DP			0,15	0,03
P9. Média	Milho / Soja / em PD	Latossolo Argilo-arenoso / Cobertura Detrito-laterítica	-21,24	1,48
DP			0,14	0,05
P10. Média	Milho / Soja / em PD	Latossolo / Basalto	-18,21	2,23
DP			1,68	0,13

tendência clara de enriquecimento ou empobrecimento de carbono associado com a cobertura vegetal ou técnica de manejo.

Ao considerar na interpretação dos dados a variável textura do solo é possível admitir que nas pastagens instaladas nos Latossolos arenosos da Formação Adamantina, os teores médios de carbono orgânico foram os menores, especialmente

quando a pastagem não é manejada (0,9%). Os resultados indicam que para um mesmo uso e prática de manejo, o teor de carbono apresentou estreita relação com a textura arenosa deste material. Estudos morfológicos de campo mostraram que estes solos não desenvolvem pedoestrutura, possuem expressiva quantidade de grãos de quartzo lavados e soltos na superfície e desenvolvem

inúmeras ravinas de profundidade centimétrica em posições da vertente com solo descoberto. Por outro lado, os Latossolos argilosos desenvolvidos da alteração do basalto parece ter influenciado particularmente com o enriquecimento do carbono do solo na pastagem não manejada (Ponto 3). Em relação as áreas com soja convencional e soja/milho plantio direto, influência predominante da textura ou do sistema de manejo não é perceptível, sendo obrigatório ampliar os pontos de amostragem para aprofundamento analítico.

Carbono Isotópico ($\delta^{13}\text{C}$)

A relação entre o uso do solo e a natureza do carbono incorporado como matéria orgânica do solo foi feita por meio da análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$ (Tabela 1). A substituição do ecossistema do Cerrado em sistemas agrícolas resultou em mudança para o carbono derivado das culturas introduzidas. A vegetação do Cerrado brasileiro é composta predominantemente por espécies arbóreas C_3 e gramíneas C_4 . Na área de estudo, o fragmento de Cerrado corresponde à fitofisionomia Cerradão (predominância de espécies arbóreas em detrimento de gramíneas e arbustos) cuja assinatura isotópica apresentou valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ de -26.08‰ , portanto coerente com a assinatura isotópica média de -27.76‰ obtido por Hoffmann *et al.* (2005) para as espécies arbóreas do Cerrado. A introdução da gramínea braquiária (*Brachiaria decumbens*) na pastagem manejada, planta de metabolismo C_4 , alterou a assinatura isotópica do carbono do solo para valores menos negativos, entre -15.26‰ e -17.58‰ . Nas pastagens não manejadas (espécies originais do Cerrado) a assinatura isotópica variou entre -17.04‰ e -18.12‰ .

Nas áreas cultivadas com soja/milho em sistema plantio direto foi determinada assinatura isotópica que indica mistura de vegetação resultante da incorporação no solo de raízes e resíduos de soja (C_3) e milho (C_4). Os valores médios obtidos foram de -18.21‰ e de -21.24‰ no sistema milho/soja plantio direto e de -19.86‰ no solo com soja convencional.

DISCUSSÕES

O carbono do solo é um componente importante do ciclo do carbono e tende a ser parcialmente liberado para a atmosfera quando áreas florestadas são convertidas em agricultura (Lal, 1997) embora o efeito da atividade humana nos estoques globais do carbono é insuficientemente entendido especialmente quando um tipo de vegetação é substituído por outro (Murty *et al.*, 2002). Sabe-se, entretanto, que para os solos lateríticos tropicais do Cerrado, a diminuição da mineralização e erosão por meio de práticas de manejo conservacionistas são úteis na reversão das condições que degradam a qualidade dos solos (Marchão *et al.*, 2009). Mudanças no uso e manejo das terras alteram a dinâmica e a natureza do carbono orgânico total e, outros atributos do solo, como a textura, são determinantes nas variações do teor de carbono, principalmente nas camadas superficiais dos solos (Feller *et al.*, 1991).

Avaliando o conjunto de dados obtidos nesta pesquisa, a média do conjunto dos dados (1.3%) relacionados à pastagem não manejada foi a que mais se distanciou, no sentido do empobrecimento, do teor médio do solo do Cerrado (1.7%) enquanto que o oposto foi verificado no conjunto com cultivo de soja e milho (2.2%). Quando o Cerrado é cortado e/ou queimado para a instalação da pastagem, duas situações são possíveis na região em estudo. A primeira é manter a gramínea original que se caracteriza como de baixa densidade e qualidade nutricional. As variações climáticas sazonais (período seco entre os meses de abril a setembro) e o pastejo extensivo resultam em coberturas vegetais pouco densas e solo exposto. A associação destas pastagens com solos de baixa fertilidade natural e sem estruturação física resulta em baixa produção de biomassa aérea e radicular, condições estas que levam à redução do teor de carbono do solo (Silva *et al.*, 2004; Brossard e López-Hernández, 2005). A segunda situação possível é a introdução de pastagens com espécies vegetais africanas (*Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon*) mais produtivas, que são tecnicamente manejadas e reconhecidamente com maior potencial de aumento do estoque de carbono no solo (Savidan *et al.*, 1985; Balbino *et al.*, 2002; Cerri *et al.*, 2003; Marchão *et al.*,

2009). Na área de estudo, as pastagens manejadas apresentaram valor médio do conjunto (1.8%) mais próximos do valor médio do Cerrado. Alguns autores, entretanto, mostraram que nem sempre há uma resposta positiva no aumento das taxas de concentração de carbono no solo pois os conteúdos também variam em função do tempo de conversão e de outros fatores limitantes como a textura, a mineralogia e a redução da atividade microbiana durante o período seco (Freitas *et al.*, 2000; Murty *et al.*, 2002, Roscoe e Buurman, 2003; Bayer *et al.*, 2006). 75% do Bioma Cerrado são compostos por solos tropicais lateríticos representados por Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos (Reatto *et al.*, 2008). São solos fortemente lixiviados, dessaturados, ácidos (pH entre 4.0-5.5), alta concentração de Al trocável e constituído por argila de baixa atividade (LAC). A composição mineralógica comum associa caolinita, gibbsita, hematita e goethita e quartzo residual e os teores variam de acordo com a litologia e posição topográfica. São extremamente frágeis e a erosão superficial ou em sulcos se constituem em um dos maiores problemas ambientais. Particularmente os solos originados da alteração dos arenitos do grupo Baurú (Formações Marília e Adamantina) são pobres em incorporação de matéria orgânica. As condições ambientais favorecem a mineralização da matéria orgânica do solo. Estes solos respondem rapidamente e elevam quantitativamente os estoques de carbono quando se introduz um sistema de manejo que recubra o solo e que mantenha a integridade da estrutura, como as pastagens manejadas e o plantio direto (Moraes, 1991; Cerri *et al.*, 2006; Fernandes *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2009).

Os dados apresentados neste trabalhos sugerem também que, além do manejo, à variação da textural dos solos atua como fator determinante de enriquecimento e empobrecimento do carbono orgânico do solo. O caso mais nítido foi determinado nas pastagens não manejadas que apresentou maior teor médio de carbono no solo argiloso de alteração do basalto e menor no solo arenoso quartzoso da Formação Adamantina. Segundo Feller *et al.* (1991), neste tipo de solo argiloso de baixa atividade (LAC), o aumento da matéria orgânica do solo pode ser resultado da ligação entre o

carbono e a argila, sendo que esta condição pode equalizar os valores de carbono determinados em solos cultivados com aqueles obtidos em vegetação nativa. Além da caolinita, as elevadas concentrações de óxido de ferro nos solos lateríticos do Cerrado propiciam as ligações de troca entre os íons férricos e as superfícies dos grupos funcionais da matéria orgânica, ligações estas que interferem na decomposição da matéria orgânica e redução da biodisponibilidade (Oades *et al.*, 1989; Balesdent *et al.*, 2000; Bayer *et al.*, 2006). Mineralogia e textura estão relacionadas aos gradientes de teor de MOS (Brown e Lugo, 1982; Feller e Beare, 1997; Krull e Skjemstad, 2003) e respondem pela conservação do C. No caso das áreas cultivadas com soja convencional e soja consorciada com milho com técnica de plantio direto, não foi possível estabelecer um padrão de enriquecimento ou empobrecimento de carbono deixando nítido que a interpretação das tendências de magnitude devem levar em conta, além dos fatores mencionados acima, também o tempo de conversão. As pastagens são as atividades mais antigas da região de estudo, implantadas desde a década de 1970 que foram seguidas pelo cultivo da soja convencional que ocupou áreas de antigas pastagens (a partir da década de 1980) e, mais recentemente, o sistema de plantio direto consorciando soja/milho passou a ser mais amplamente usado. Este histórico de uso está refletido nos dados de $\delta^{13}\text{C}$. A substituição do carbono predominante na fitofisionomia Cerradão (-26.20‰) pelo carbono da vegetação do cultivo foi mais nítida quando houve a conversão para a pastagem. Quando a conversão ocorreu para o cultivo de soja (plantas C_3) e consórcio soja/milho (mistura de plantas C_3 e C_4), foram registrados valores menos negativos quando comparado com o Cerradão porém os dados não são definitivos. Os resultados com os valores menos negativos pode estar associado à introdução dos resíduos do milho. Porém, se considerar que o Ponto 8 possui apenas soja e é menos negativo do que o Ponto 9 que associa soja e milho, conclui-se que para os pontos amostrados é incerta a quantidade de resíduos da cultura que foi incorporada no solo que parece ser dependente do tempo de uso.

CONCLUSÕES

Manter o estoque de carbono orgânico nos solos tropicais convertidos em sistemas agrícolas é uma das condições essenciais para assegurar a qualidade do solo e a biodiversidade. Os solos do Bioma Cerrado, devido à sua fragilidade química e estrutural, tendem a perder rapidamente o carbono do solo por mineralização e erosão. Embora os resultados obtidos neste trabalho não possam ser extrapolados para o extenso e complexo Bioma Cerrado, eles sugerem que as perdas são mais acentuadas nos solos arenosos especialmente nas pastagens quando não são adotadas práticas conservacionistas. Nos solos argilosos ou em pastagens manejadas, o solo conservou mais carbono. Nesta categoria de uso, os resultados do $\delta^{13}\text{C}$ mostraram que foi mais nítida a substituição do carbono C_3 original de espécies arbóreas do Cerrado (Cerradão) em carbono C_4 de gramíneas, tanto nas áreas ocupadas por pastagens com quanto sem manejo. No caso da conversão do Cerrado para soja plantio convencional e consórcio soja/milho plantio direto, não foi possível encontrar tendência clara de empobrecimento ou enriquecimento do carbono bem como a substituição e incorporação de carbono de outra natureza que aquela do Cerrado. Tais dados suportam a necessidade de avaliar profundamente o histórico de ocupação e calcular o equilíbrio do carbono do solo para poder avaliar a taxa de substituição.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a FAPEMIG (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto de Pesquisa (CRA-APQ-01103-11) e a CAPES pela concessão da bolsa de doutoramento.

REFERÊNCIAS

- Balbino, L. C., M. Brossard, J. C. Leprun e A. Bruand (2002), "Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique", *Étude et gestion des sols*, vol. 9, pp. 83-104.
- Balesdent, J., C. Chenu and B. Balabane (2000), "Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage", *Soil & Tillage Research*, vol. 53, pp. 215-230.
- Bayer, C., L. Martin Neto, J. Mielniczuk, A. Pavinato and J. Dieckow (2006), "Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till", *Soil & Tillage Research*, vol. 86, pp. 237-245.
- Bernoux, M., M. C. S. Carvalho, B. Volkoff and C. C. Cerri (2002), "Brazil's soil carbon stocks", *Soil Science Society American Journal*, vol. 66, pp. 88-896.
- Brossard, M. e D. López Hernández (2005), "Des indicateurs d'évolution du milieu et des sols pour rendre durable l'usage des savanes d'Amérique du Sud", *Natures Sciences Sociétés*, vol. 13, pp. 266-278.
- Brown, S. and A. E. Lugo (1982), "The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle". *Biotropica*, vol. 14, pp. 161-187.
- Carvalho, J. L. N., C. E. P. Cerri, B. J. Feigl, M. C. Piccolo, V. P. Godinho, U. Herpin and C. C. Cerri (2009), "Conversion of Cerrado into Agricultural Land in the South-Western Amazon: Carbon Stocks and Soil Fertility", *Sci. Agric.*, vol. 66, no. 2, pp. 233-241.
- Cerri, C. E. P., K. Coleman, D. S. Jenkinson, M. Bernoux, R. Victoria and C. C. Cerri (2003), "Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil", *Soil Science Society American Journal*, vol. 67, pp. 1879-1887.
- Cerri, C. C., M. Bernoux, C. E. P. Cerri and R. Lal (2006), "Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America", in Lal, R., C. C. Cerri, M. Bernoux, J. Etchevers e C. E. P. Cerri (eds.), *Carbon Sequestration in Soils of Latin America*, pp. 41-47.
- Corazza, E. J., J. E. Silva, D. V. S. Resck e A. C. Gomes (1999), Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, vol. 23, no. 2, pp. 425-432.
- Deines, P. (1980), "The isotopic composition of reduced organic carbon", in Fritz, P. and J. C. Fontes (eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, vol. 1, pp. 329-406.
- Egoh, B., B. Reyers, M. Rouget, M. Bode and D. M. Richardson (2009), "Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa", *Biol. Conserv.*, vol. 142, pp. 553-562.
- Feller, C., E. Fritsch, R. Poss e C. Valentin (1991), "Effects de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier)", *Cahier ORSTOM, sér. Pédologie*, vol. 26, pp. 25-36.

- Feller, C. and M. H. Beare (1997), "Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics", *Geoderma*, vol. 79, pp. 69-116.
- Fernandes, F. A., A. H. B. M. Fernandes e S. M. A. Crispim (2007), "Biomassa microbiana e conteúdos de carbono e nitrogênio do solo em áreas de pastagem nativa sujeita à queimada, Pantanal Mato-Grossense – Corumbá", *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, núm.73.
- Freitas, P. L., P. Blancaneaux, E. Gavinelli, M. C. Larré-Larrouy e C. Feller (2000), "Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo", *Pesq. Agropec. Bras.*, vol. 35, pp. 157-170.
- Guo, L. B. and R. M. Gifford (2002), "Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis", *Global Change Biology*, vol. 8, pp. 345-360.
- Hoffmann, W. A., A. C. Franco, M. Z. Moreira and M. Haridasan (2005), "Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees", *Functional Ecology*, vol. 19, pp. 932-940.
- Klink, C. A. and R. B. Machado (2005), "Conservation of Brazilian cerrado", *Conservation Biology*, vol. 19, pp. 707-713.
- Krull, E. and J. O. Skjemstad (2003), " $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ profiles in ^{14}C -dated Oxisol and Vertisols as a function of soil chemistry and mineralogy", *Geoderma*, vol. 112, pp. 1-29.
- Lal, R. (1997), "Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO_2 -enrichment", *Soil Tillage Research*, vol. 43, pp. 81-107.
- Lal, R. (2003), "Global potential of carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect", *Critical Reviews in Plant Sciences*, Boca Raton, vol. 22, no. 2, pp. 151-184.
- Marchão, R. L., T. Becquer, D. Brunet, L. C. Balbino, L. Vilela and M. Brossard (2009), "Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems", *Soil Tillage Research*, vol. 103, pp. 442-450.
- MMA (2010), *Projeto de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite*, Ministério do Meio Ambiente [<http://www.mma.org.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&cidEstrutura=201&cidConteudo=8448&cidMenu=8982>]. htm: Abril de 2010].
- Moraes, J. F. L. (1991), "*Conteúdos de Carbono e Tipologia de Horizontes nos Solos da Bacia Amazônica*", Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Murty, D., M. U. F. Kirschbaum, R. E. McMurtrie and H. McGilvray (2002), "Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? a review of the literature", *Global Change Biology*, vol. 8, pp. 105-123.
- Oades, J. M., G. P. Gillman and G. Uehara (1989), "Interactions of soil organic matter and variable-charge clays", in Coleman, D. C., J. M. Oades e G. Uehara (eds.), *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*, Honolulu, Hawaii Press, pp. 69-95.
- Reatto, A., J. R. Correia, S. T. Spera e E. S. Martins (2008), "Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos", in Sano, S. M., S. P. D. Almeida e J. F. Ribeiro (eds.), *Cerrado – Ecologia e Flora*. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, vol. 1, pp.107-133.
- Resk, D. V. S., C. A. Vasconcelos, L. Vilela and M. C. M. Macedo (2000), "Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics", in Lal, R., J. M. Kimble and B. A. Stewart (eds.), *Global climate change and tropical ecosystems*, Boca Raton, CRC Press, pp. 169-196.
- Roscoe, R. and P. Buurman (2003), "Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol", *Soil Tillage Research*, vol. 104, pp. 185-202.
- Savidan, Y., J. D. Jank, F. H. D. Souza and A. Book (1985), "*Preliminary evaluation of Panicum maximum germplasm in Brazil*", [In International agronomy research program, Proc. XVth. Int. Grassl. Congress], Kyoto, Japan [cd-rom], pp.117-118.
- Silva, J. E., D. V. S. Resck, E. J. Corazza and L. Vivaldi (2004), "Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the 'Cerrado' region, Brazil", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 103, pp. 357-363.
- Silva, F. A. M., E. D. Assad e B. A. Evangelista (2008), "Caracterização climática do Bioma Cerrado", in Sano, S. M., S. P. D. Almeida e J. F. Ribeiro (eds.), *Cerrado – Ecologia e Flora*, Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, vol.1, pp. 69-106.
- Volkoff, B. (1985), "Organisations régionales de la couverture pédologique du Brésil. Chronologie des différenciations", *Cahier Orstom, sér. Pédologie*, vol. XXI, pp. 225-236.